

POLA ANOMALI MAGNET DAN NILAI SUSCEPTIBILITAS DARI BATUAN DASAR PADA PEMETAAN GEOLOGI DAN GEOFISIKA DI PERAIRAN TELUK BONE SULAWESI SELATAN

Oleh

Beben Rachmat dan Delyuzar Ilahude

Puslitbang Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjungan No. 236 Bandung

Diterima : 4-08-2011 Disetujui : 2-03-2012

S A R I

Pola anomali magnet dari penerapan metode reduksi ke kutub dan equator menunjukkan nilai anomali lokal yang cukup signifikan. Nilai anomali magnet di perairan Teluk Bone diduga berkaitan dengan tatanan litologi batuan dasar.

Nilai anomali negatif dengan notasi warna biru yang menempati bagian utara dan tenggara daerah penelitian, diduga merupakan batuan sedimen yang mendominasi daerah tersebut. Sifat kemagnetan batuan di bagian barat daerah penelitian, diduga disebabkan oleh busur magmatik dari tepian timur lengan Sulawesi Selatan.

Nilai susceptibilitasnya (k) tertinggi mulai dari 0.1588 hingga 0.1596, sedangkan terendah mulai dari 0.1564 sampai 0.1572. Diperkirakan nilai susceptibilitas tertinggi, termasuk dalam kelompok batuan metamorf, sedangkan terendah termasuk dalam kelompok batuan sedimen.

Kata kunci : anomali lokal, susceptibilitas

ABSTRACT

The pattern of magnetic anomalies of the application the method of reduction to the pole and equator shows the value of the local anomalies are quite significant. The value of magnetic anomalies in the waters of the Gulf of Bone allegedly related to order litologi bedrock.

The value of negative anomalies with blue color notation that occupy the north and southeast region research, allegedly is a sedimentary rock that dominates the area. The nature of magnetic rocks in the western part of the area of research, allegedly caused by the arc of the east arm magmatic South Sulawesi.

The value of the highest susceptibilitasnya (k) ranging from 0.1588 until 0.1596, whereas the lowest starting from 0.1564 until 0.1572. Estimated value of the highest susceptibility, included in the group of metamorphic rock, while the lowest are included in the group of sedimentary rocks.

Keywords: local anomaly, susceptibility

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam penelitian geologi dan geofisika di Teluk Bone Sulawesi Selatan, salah satu metode yang digunakan adalah metode magnet laut. Penerapan metode magnet laut di perairan ini

sangat membantu dalam penafsiran dari metode lain dalam pemetaan bersistem di perairan tersebut. Dengan menerapkan metode magnet di perairan ini diharapkan akan memberikan kontribusi sebagai data awal untuk mengetahui bentuk anomali magnet dari batuan dasar di Teluk Bone dan sekitarnya.

Analisis pola anomali magnet dari batuan dasar ini, menggunakan pemodelan dengan cara reduksi ke kutub dan equator yang merupakan pengembangan dari metode magnet yang dilakukan dalam pemetaan geologi dan geofisika secara sistematis yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) tahun 2011 (Sutisna dkk., 2011).

Penerapan metode magnet di perairan tersebut dilakukan bersamaan dengan survei seismik dan pengukuran kedalaman laut (*sounding*) secara kontinu dengan menggunakan Kapal Riset Geomarin I milik P3GL. Lintasan penelitian diambil arah timur-barat dengan lintasan *crosscheck* arah utara-selatan dan barat-laut-tenggara.

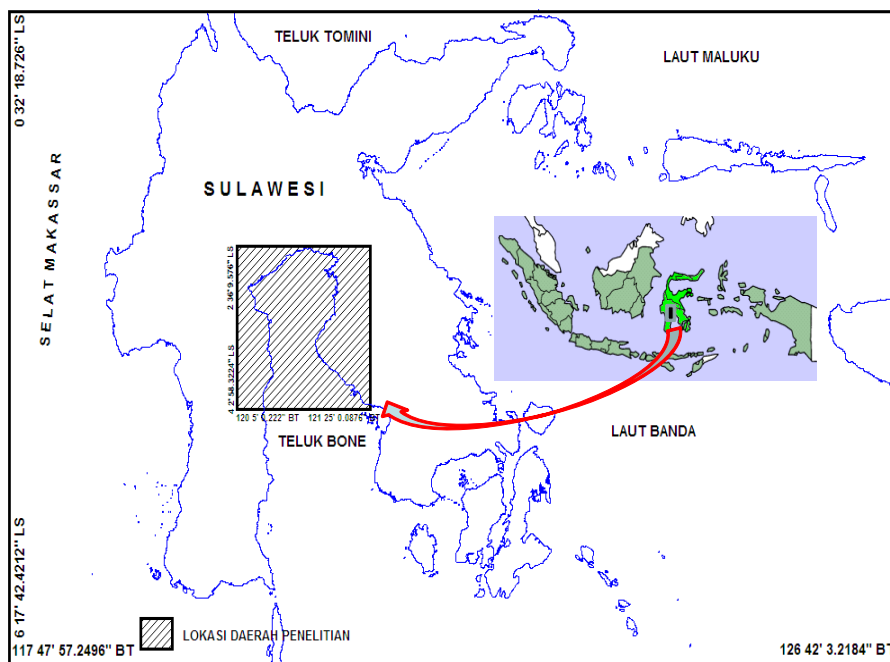
Maksud dari penelitian ini untuk mengetahui pola kemagnetan dari batuan dasar yang dapat menggambarkan tatanan geologi bawah permukaan dasar laut. Lokasi daerah penelitian terletak di perairan Teluk Bone, Sulawesi Selatan dengan batas koordinat antara 4°02'56" – 2°36'9.5" LS dan 120°05'22.2" – 121°25'08" BT (Gambar 1).

Dari peta hidrografi yang telah dipublikasikan menunjukkan bahwa kedalaman laut daerah penelitian antara 200 hingga 2000 meter (Dishidros TNI-AL, 2009).

Prinsip metode magnet berdasarkan pada induksi medan magnet utama bumi dan magnetisasi permanen yang umumnya mempunyai arah dan intensitas yang berbeda, serta sebagian termagnetisasi sejak proses kristalisasi batuan (Telford, W.M., drr., 1974). Oleh sebab itu nilai anomali magnet yang diperoleh merupakan gabungan dari keduanya atau hasil induksi murni. Jika arah medan magnet permanen sama dengan arah induksi medan magnet maka anomali tersebut bertambah besar demikian juga sebaliknya. Sementara sifat kemagnetan batuan dari batuan dasar didefinisikan sebagai permukaan yang batuanannya mengalami magnetisasi lebih besar dari batuan sedimen (Telford, W.M., drr., 1998).

Pengolahan data magnet berdasarkan pada pengukuran intensitas untuk mendapatkan gambaran pola anomali magnetik di daerah penelitian. Dari data tersebut diperoleh posisi bujur, posisi lintang, dan intensitas medan magnet di daerah tersebut.

Intensitas medan magnet terukur merupakan penjumlahan dari medan magnet utama, variasi medan magnet bumi yang berhubungan dengan variasi kerentanan magnet batuan, medan magnet remanen, dan variasi akibat aktivitas di matahari. Data intensitas medan magnet ini sangat dipengaruhi oleh



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

variasi medan magnet bumi yang berhubungan dengan variasi kerentanan magnet batuan atau yang lebih umum dikenal sebagai anomali magnet lokal. Analisis anomali magnet dalam tulisan ini lebih ditekankan pada bentuk anomali magnet yang dapat menggambarkan pola kemagnetan secara regional yang diperoleh dari hasil analisis anomali total serta nilai susceptibilitas dari batuan dasar.

Hasil analisis ini diharapkan dapat merepresentasikan pola anomali regional dan sifat kemagnetan batuan dasar dari data anomali total. Anomali magnet total tersebut merupakan respon dari berbagai sumber anomali yang relatif dalam, sehingga dengan penerapan metode reduksi ke kutub maupun equator diharapkan pola magnet batuan dasar bisa lebih terlihat.

Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian adalah untuk mengetahui pola kemagnetan dari batuan dasar serta untuk mengetahui nilai susceptibilitas yang dapat merepresentasikan tipe batuan dasar yang dapat menggambarkan tatanan geologi daerah penelitian. Tujuannya untuk mengetahui gambaran pola kemagnetan batuan setelah direduksi ke kutub dan ke equator.

Geologi Regional

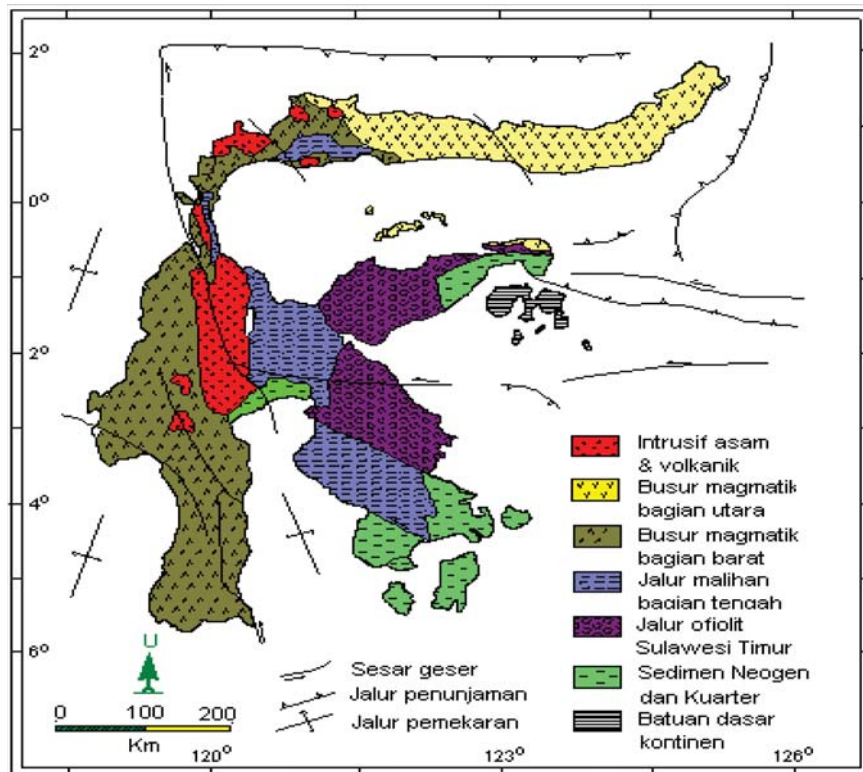
Sulawesi terletak pada pertemuan Lempeng besar Eurasia, lempeng Pasifik, serta sejumlah lempeng lebih kecil (lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan banchuh, ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama proses penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik lainnya (Van Leeuwen drr, 1994).

Berdasarkan keadaan litotektonik, Sulawesi dibagi tiga mandala, yaitu Mandala barat sebagai jalur magmatik yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda, Mandala tengah berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan banchuh sebagai bagian dari blok Australia, dan Mandala timur berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias - Miosen. Van Leeuwen (1994) menyebutkan bahwa mandala barat sebagai busur magmatik dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu bagian utara dan barat. Bagian utara memanjang dari Buol sampai sekitar Manado, dan bagian barat dari Buol

sampai sekitar Makassar. Batuan bagian utara bersifat riodasitik sampai andesitik, terbentuk pada Miosen - Resen dengan batuan dasar basaltik yang terbentuk pada Eosen - Oligosen. Busur magmatik bagian barat mempunyai batuan penyusun lebih bersifat kontinen yang terdiri atas batuan gunung api - sedimen berumur Mesozoikum - Kuarter dan batuan malihan berumur Kapur. Batuan tersebut diterobos granitoid bersusunan terutama granodioritik sampai granitik yang berupa batolit, stok, dan retas (Gambar 2).

Perairan Sulawesi Selatan menempati bagian tengah zona transisi antara kawasan Indonesia bagian barat dan Indonesia bagian timur. Secara tektonik, zona transisi ini terletak pada pojok timur dari sistem Paparan Sunda yang termasuk pada lempeng benua utama Eurasia dan pada pojok barat sistem laut Tepian Banda merupakan mikro lempeng Laut Banda. Di sekitar Sulawesi selatan terdapat tujuh satuan morfo-tektonik utama, mencerminkan adanya kompleksitas dalam kedudukan dan perkembangan tektoniknya dan kemungkinan juga berhubungan dengan asal mula Paparan Spermonde, Cekungan Makassar Selatan, Cekungan Bone, Cekungan Wetar, Cekungan Selayar, Cekungan Flores-Lombok dan Doang Platform.

Hasil penafsiran geologi dan tektonik dari beberapa peneliti terdahulu cenderung mendukung bukti-bukti adanya pembukaan Cekungan Makassar Selatan dan Cekungan Bone. Sementara tepian selatan Sulawesi Selatan dan batuan alas Laut Flores menyusup ke bawah busur gunungapi Flores, berasosiasi dengan terbentuknya jalur sesar naik busur belakang Flores. Berdasarkan skenario tektonik tersebut, wilayah perairan Sulawesi selatan melebar ke barat dan timur dan menyempit ke selatan. Cekungan Bone pada tepian timur Sulawesi selatan membentuk suatu sistem kipas bawah laut yang besar dengan bagian mulut terletak di utara dan bagian kipas utama melebar ke arah Cekungan Wetar bagian barat. Sedimen berasal dari jalur gunung api tua dan zona tumbukan Sulawesi tenggara, diangkut ke dalam sistem kipas tersebut dan kemungkinan berasosiasi dengan mineral logam rombakan (http://en.wikibooks.org/wiki/The_Geology_of_Indonesia/Sulawesi).



Gambar 2. Peta satuan litotektonik Sulawesi (Van Leeuwen, 1994).

METODE

Pengambilan data magnet di laut diperoleh dengan menggunakan alat magnet laut yang terdiri dari satu unit magnetometer *SeaSpy* yang dilengkapi dengan sistem perangkat lunak *SeaLink*. Sensor alat ini ditarik di belakang kapal pada jarak tiga kali panjang kapal. Alat ini dioperasikan bersamaan dengan survei seismik dengan kecepatan jelajah kapal rata-rata 4 knot. Untuk menentukan posisi pengambilan data di lapangan, digunakan sistem satelit navigasi terpadu dengan menggunakan satelit *DGPS Receiver Model C-Nav*. Data ini diterima setiap dua detik dan diproses secara digital menggunakan fasilitas program *Hypack Software*.

Data yang diperoleh berupa data intensitas magnet total kemudian dikoreksi terhadap *IGRF* (*International Geomagnetic Reference Field*) dan intensitas magnet variasi harian guna mereduksi pengaruh medan magnet luar dan menyeragamkan nilai intensitas magnet utama bumi yang berubah terhadap waktu.

Anomali yang diperoleh merupakan gabungan dari magnetik remanen dan induksi, sehingga untuk mendapatkan nilai anomali magnet maka dilakukan reduksi efek intensitas

magnetik yang ditimbulkan oleh medan magnet bumi. Besarnya intensitas magnetik terukur (H_M) dikoreksi terhadap datum kemagnetan global (*International Geomagnetic Reference Field / IGRF*, tahun 2010) dan intensitas magnet variasi harian (H_V), sehingga diperoleh nilai anomali magnet total (H_T) dalam satuan nano Tesla (nT).

Anomali magnet total merupakan gabungan dari anomali magnet regional dan lokal, sehingga untuk mengetahui anomali lokal, dilakukan pemisahan terhadap anomali regional dan anomali total. Menurut Telford drr (1990), besarnya intensitas magnet total disekitar batuan yang termagnetisasi diformulasikan sebagai berikut :

$$\Delta H_T = H_M - H_{IGRF} \pm H_V \dots\dots\dots (1)$$

ΔH_T = anomali magnet total

H_M = intensitas magnet total yang terukur

H_{IGRF} = intensitas magnet teoritis berdasarkan IGRF pada stasiun H_M

H_V = intensitas magnet akibat variasi harian

Derajat dari suatu benda dapat termagnetisasi ditentukan oleh susceptibilitas k sehingga hubungan matematisnya dapat ditulis sebagai berikut :

$$I = k H \dots\dots\dots (2)$$

I = Tingkat kemampuan menyearahkan momen magnetik dalam medan magnet luar

k = Susceptibilitas

H = Kuat medan magnet

Besaran ini adalah parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Nilai k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik (Telford dr, 1990).

Untuk mendapatkan nilai anomali magnet total dilakukan dengan metode *moving average* kemudian dikurangi IGRF dan variasi harian (H_V). Setelah mendapatkan nilai anomali magnet total kemudian dilakukan *gridding* untuk memproyeksikan nilai anomali magnet total ke dalam peta.

Pengolahan data selanjutnya yaitu dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *oasis montaj* untuk memperoleh nilai dari hasil reduksi ke kutub (*filtering reduction to the pole*) dan reduksi ke ekuator (*reduction to the equator*) dengan mengatur sudut deklinasi sebesar 90° dan inklinasi sebesar 0° .

PEMBAHASAN

Data pengukuran hasil lapangan merupakan data intensitas magnet total yang masih dipengaruhi oleh komponen medan magnet luar (Gambar 3). Pengaruh ini antara lain disebabkan oleh medan magnet yang berasal dari pergerakan bulan dan kondisi temperatur bumi. Sehingga data intensitas magnet yang diperoleh harus dikoreksi terhadap *IGRF* dan fluktuasi medan magnet variasi harian (H_V).

Dari hasil perhitungan data intensitas magnet yang dilakukan pada 26 lintasan survei diperoleh angka anomali magnet totalnya bernilai negatif yaitu antara -620 nT sampai dengan -310 nT (Gambar 4).

Peta kontur anomali magnet total yang diperoleh merupakan resultante dari komponen intensitas magnet yang diduga berkaitan dengan batuan yang mempunyai sifat kerentanan

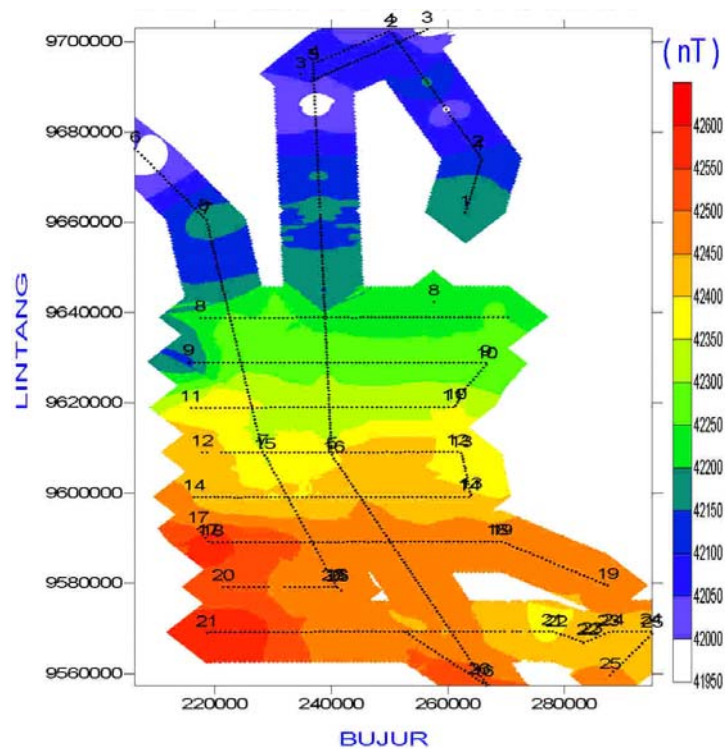
magnet (*susceptibilitas*) magnet yang tinggi maupun rendah.

Distribusi anomali magnet total ini dibagi dalam 4 kelompok warna, yaitu warna merah mulai dari -390 nT sampai dengan -330 nT, warna kuning antara -450 nT hingga -390 nT, warna hijau antara -530 nT sampai dengan -450 nT dan biru antara -620 nT hingga -530 nT. Secara garis besar anomali magnet relatif tinggi terdapat di bagian utara dan baratdaya, sedangkan anomali relatif rendah terdapat di bagian tenggara dan barat laut daerah penelitian.

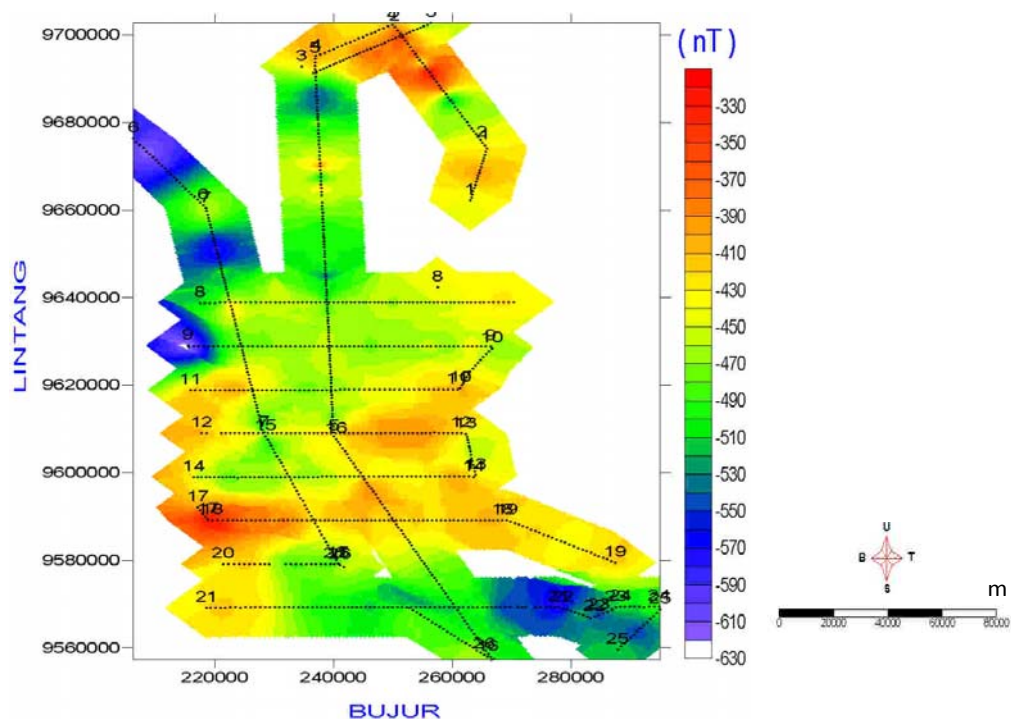
Dengan mengaplikasikan perangkat lunak *oasis montaj* maka nilai anomali yang dihasilkan dapat menggambarkan pola anomali dengan toleransi sudut inklinasi 90° dan deklinasi sebesar 0° . Dari hasil aplikasi perangkat lunak tersebut ternyata nilai sebaran anomali magnet ini sedikit mengalami pergeseran dari nilai anomali total yaitu anomali paling rendah sebesar -660 nT dan paling tinggi sebesar -260 nT (Gambar 5).

Hal ini dapat dilihat dari distribusi 4 kelompok warna, yaitu warna merah mulai dari -360 nT sampai dengan -260 nT, warna kuning antara -440 nT hingga -360 nT, warna hijau antara -560 nT sampai dengan -440 nT dan biru antara -660 nT hingga -560 nT. Anomali magnet relatif tinggi (notasi merah) terdapat di bagian utara dan tenggara, sedangkan anomali relatif rendah (notasi biru) terdapat di bagian baratdaya daerah penelitian. Sebaran anomali magnet ini agak berbeda dengan sebaran anomali total (Gambar 4). Dengan demikian anomali magnet hasil reduksi ke kutub ternyata tidak menunjukkan perubahan dari *dwi* kutub (*dipole*) menjadi satu kutub (*pole*). Hal ini disebabkan karena aplikasi reduksi ke kutub tidak sesuai jika orientasi lintasan berarah barat-timur atau sebaliknya. Akan tetapi jika anomali magnet direduksi ke ekuator maka terjadi proses *dwi* kutub menjadi satu kutub (Gambar 6). Sebaran nilai anomali magnet ini, hampir sama dengan nilai anomali total. Dengan demikian untuk reduksi ke ekuator maka orientasi lintasan yang cocok adalah arah barat-timur sejajar dengan arah ekuator.

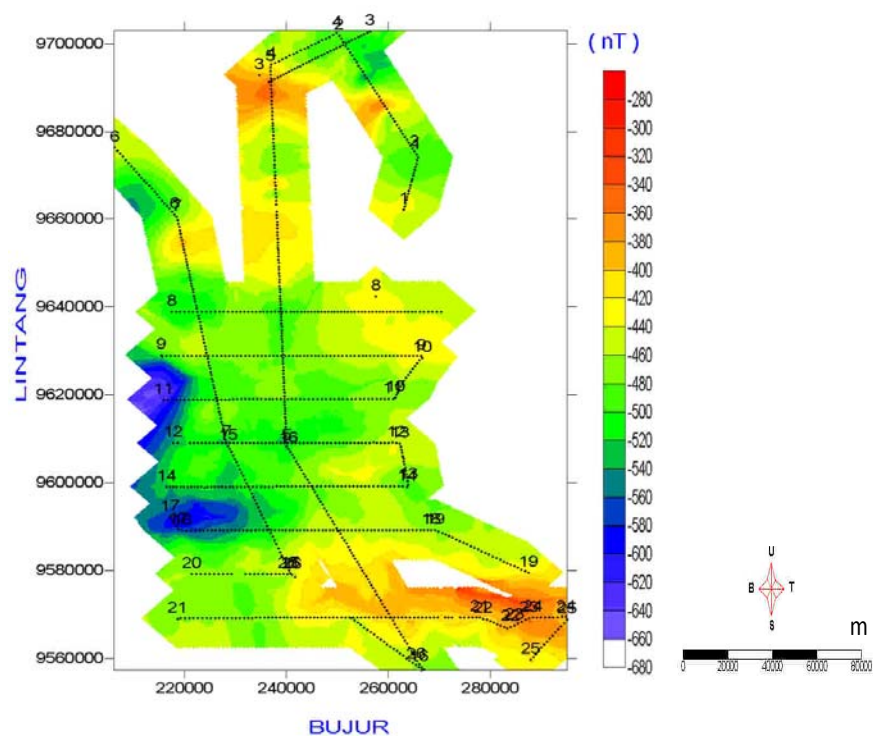
Anomali negatif ini tersebar hampir di seluruh bagian daerah penelitian yang menggambarkan *susceptibilitas* yang rendah yang diduga berupa batuan sedimen atau batuan metamorf. Dari peta anomali magnet reduksi ke



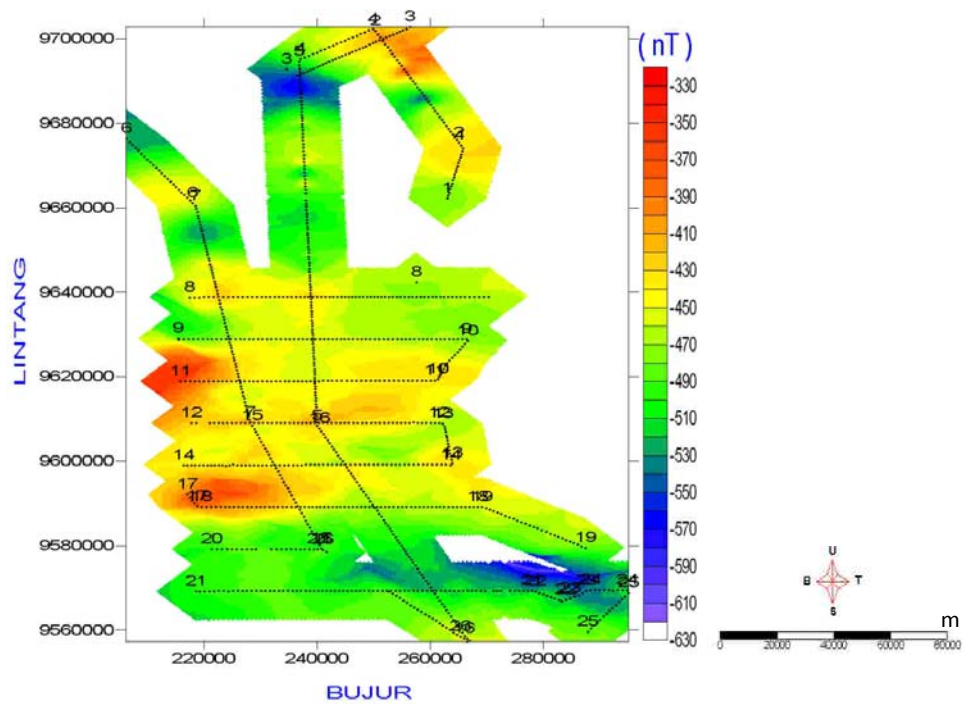
Gambar 3. Pola intensitas magnet total



Gambar 4. Anomali magnet total



Gambar 5. Anomali magnet reduksi ke kutub



Gambar 6. Anomali magnet reduksi ke equator

equator, terlihat adanya sebaran anomali relatif tinggi (notasi merah) berada di bagian barat daerah penelitian, sedangkan anomali relatif rendah (notasi biru) berada di bagian tenggara yang mirip dengan anomali total.

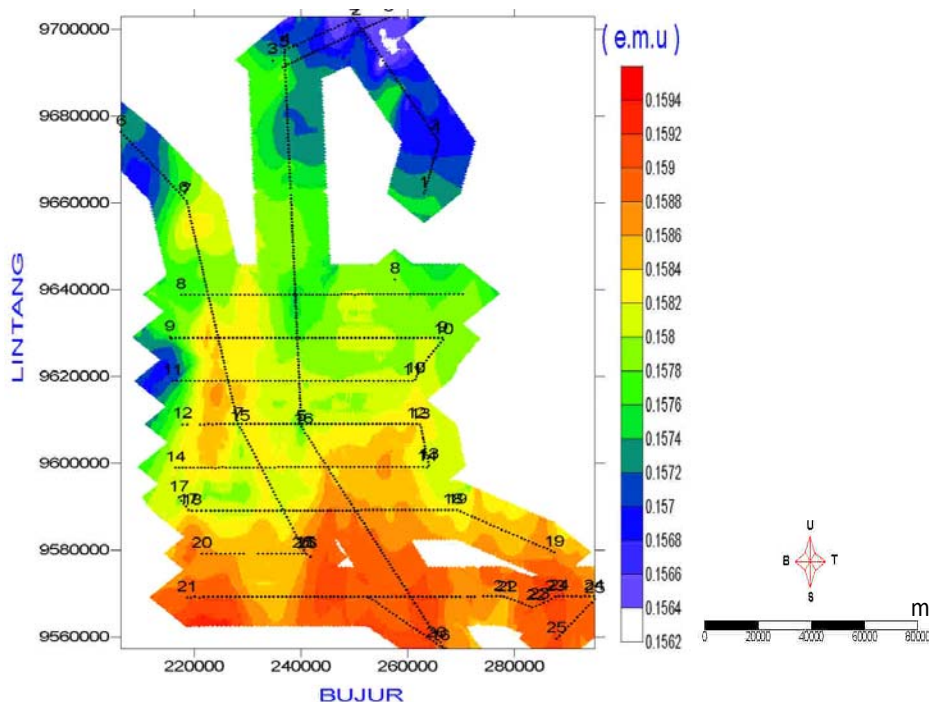
Dengan mengaplikasikan perangkat lunak *oasis montaj* maka nilai *susceptibilitas* dari batuan di daerah penelitian dapat dilihat dalam peta di bawah ini (Gambar 7).

Pola sebaran *susceptibilitas* dari kemagnitan batuan tersebut dapat dibagi dalam empat notasi warna yaitu berwarna merah dengan nilai antara 0.1588 sampai 0.1596 *ectromagnetic unit* (emu), sedangkan yang terendah warna biru dengan nilai antara 0.1564 sampai 0.1572 emu. Dari peta sebaran *susceptibilitas* kemagnitan batuan tersebut terlihat bahwa di bagian selatan daerah penelitian sifat kemagnitan batuan relatif tinggi, sedangkan dibagian utaranya relatif rendah. Jika mengacu pada klasifikasi Telford (1990), maka nilai *susceptibilitas* antara 0.1588 sampai 0.1596 emu, diperkirakan batuannya masuk dalam katagori batuan metamorf, sedangkan nilai *susceptibilitas* antara 0.1564 sampai 0.1572 emu

masuk dalam katagori kelompok batuan sedimen (Tabel 1).

Pola sebaran *susceptibilitas* yang cenderung membesar ke arah selatan (notasi warna kuning-merah), diduga merupakan batuan yang mempunyai sifat kemagnitan yang tinggi yang berasal dari jalur pemekaran di bagian selatan. Sementara nilai *susceptibilitas* yang relatif rendah di bagian utara dan timurlaut diduga merupakan kelompok batuan malihan yang mempunyai *susceptibilitas* yang sedang hingga rendah yang juga dapat dikatagorikan sebagai batuan sedimen.

Anomali total negatif (notasi biru) di bagian tenggara daerah penelitian di diduga merupakan bagian dari Cekungan Bone bagian selatan, sedangkan anomali total negatif yang berada di bagian utara daerah penelitian, diduga merupakan bagian dari Cekungan Bone bagian utara. Sementara anomali total relatif tinggi (notasi merah) di bagian barat diduga merupakan efek dari polarisasi batuan yang bersifat magnetik dari kompleks busur magmatik di



Gambar 7. Peta sebaran susceptibilitas batuan

Tabel 1. Susceptibilitas magnetik batuan dan miner menurut Telford, (1990).

TIPE BATUAN	KISARAN SUSCEPTIBILITAS	RATA-RATA
Batuan Sedimen		
Dolomit	0-0.9	0.1
Limestone	0-3	0.3
Sandstone	0-20	0.4
Shales	0.01-15	0.6
Batuan Metamorf		
Amphibolite		0.7
Schist	0.3-3	1.4
Phyllite		1.5
Gneiss	0.1-25	
Quartzite		4
Serpentine	3-17	
Slate	0-35	6
Batuan Beku		
Granite	0-50	2.5
Rhyolite	0.2-35	
Diorite	1-35	17
Augite-syenite	30-40	
Olivine-diabase		25
Diabase	1-160	55
Phorphyri	0.3-200	60
Gabbro	1-90	70
Basalt	0.2-175	70
Diorite	0.6-120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90-200	150
Andesite		160
Mineral		
Graphite		0.1
Quartz	-0.01	
Rock, salt		-0.01
Anhydrite, gypsum		-0.01
Calcite	-0.001-(-0.01)	
Coal		0.02
Clays		0.2
chalcophyrite		0.4
Sphalerite		0.7
Cassiterit		0.9
Siderite	1-4	
Pyrite	0.005-5	1.5
Limonite		2.5
Arsenopyrite		3
Hematite	0.5-35	6.5
Chromite	3-110	7
Franklinite		430
Pyrrhotite	1-6000	1500
ilmenite	300-3500	1800
Magnetite	1200-19200	6000

bagian timur lengan Sulawesi Selatan (Gambar 2).

Jika dikorelasikan dengan nilai sebaran *susceptibilitas* (*k*) maka di bagian tenggara daerah penelitian, nilai *k* lebih tinggi dibandingkan dengan di bagian utara. Kondisi ini diperkirakan adanya sifat kemagnitan batuan di bagian tenggara daerah penelitian berkaitan dengan efek polarisasi dari batuan bersifat magmatik yang berada pada jalur pemekaran di Teluk Bone bagian selatan (Gambar 2). Sementara anomali dengan notasi warna kuning yang menyebar ke arah barat dan timur, ditafsir sebagai zona transisi dari tatanan batuan dasar di kawasan cekungan Bone.

Dari penerapan metode reduksi ke equator serta nilai *susceptibilitas* batuan maka pola anomali magnet negatif di daerah penelitian, mencerminkan tatanan batuan dasar yang terdiri dari kelompok batuan metamorf dan

batuan sedimen. Nilai *susceptibilitas* yang diperoleh merupakan representasi dari batuan dasar yang membentuk cekungan fisiografi dari Teluk Bone..

KESIMPULAN

Nilai anomali negatif dengan notasi warna biru yang menempati bagian utara dan tenggara daerah penelitian, diduga merupakan batuan sedimen yang mendominasi daerah tersebut. Di bagian barat daerah penelitian sifat kemagnitan batuan di daerah ini disebabkan oleh busur magmatik dari tepian timur dari lengan Sulawesi Selatan. Sementara nilai *susceptibilitas* yang relatif tinggi yaitu antara 0.1588 hingga 0.1596 emu, diperkirakan termasuk dalam kelompok tipe batuan metamorf, sedangkan nilai *susceptibilitas* yang relatif rendah yaitu antara 0.1564 sampai 0.1572 emu, diperkirakan termasuk dalam tipe batuan sedimen. Nilai *susceptibilitas* ini memperlihatkan sifat fisis dari batuan dasar di daerah Teluk Bone. Optimalisasi dari aplikasi metode reduksi ke kutub dan equator, sangat tergantung dari orientasi lintasan pada saat survei.

DAFTAR PUSTAKA

- Dishidros, TNI-AL, 2009. *Peta Hidrografi Lembar Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara Skala 1 : 50.000*, Jakarta.
- Sutisna, N., Rachmat, B., Saputro, E., Sinaga, A., Subarsyah, D., Rahardiawan, R., Mustofa, A., Dharmawan, B. 2010. *Penyelidikan geologi dan geofisika perairan Lembar Peta 21132, 2112 (Teluk Bone)*, Laporan intern Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung (Tidak dipublikasikan).
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E. Keys, D.A., 1974. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London-New York-Melbourne.
- Telford, W.M., dan Sheriff, R.E., 1998. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, New York.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, Second Edition.

Van Leeuwen, T.M., 1994. 25 Years of Mineral Exploration and Discovery in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, h.13-90.

Van Leeuwen, T.M., Taylor, R., Coote, A., dan Longstaffe, F.J., 1994. Porphyry Molybdenum Mineralization in a Continental Collision Setting at Malala,

Northwest Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, h.279-315.

<http://en.wikibooks.org/wiki/>

The_Geology_of_Indonesia/Sulawesi/
2011.